

알루미늄 합금의 대전류 아크용접 기술

최영배* · 강문진* · 김동철* · 황인성*[†]

*한국생산기술연구원 용접접합연구그룹

High Current Arc Welding Technology of Aluminum Alloy

Young-Bae Choi*, Mun-Jin Kang*, Dong-Cheol Kim* and In-Sung Hwang*[†]

*Advanced Welding & Joining R&D Group, KITECH

[†]Corresponding author : hisman@kitech.re.kr

Abstract

Aluminum alloy, Al5083-O, is one of candidate materials for the LNG storage tank, because of its excellent weldability, cryogenic characteristics, and corrosion resistance. The good weldability of Al5083-O is very important in LNG storage tank manufacturing.

In this study, high current metal inert gas(MIG) welding process was used to get one pass welding of thick plate aluminum alloy. Bead on plate(BOP) welding was performed to evaluate the effect of welding conditions on the height of bead and depth of penetration. The optimum welding conditions were derived to get one pass welding of the thickness of 14.5mm. The mechanical properties of the welded joint were evaluated. The cross-sectional macro test, tensile test, and bending test satisfied the class rule.

Key Words : Aluminum alloys, Metal inert gas welding, Full penetration weld

1. 서 론

LNG(Liquified Natural Gas)는 타연료 대비 높은 연료 효율 및 저탄소 배출로 인해 사용량이 급증하고 있으며 이러한 수요를 만족하기 위해 전 세계적으로 LNG 선박의 건조가 활발히 진행되고 있다¹⁾.

LNG는 주로 환경조건이 열악한 해역 및 북극지방에 많이 매장되어 있기 때문에 LNG 선박의 저장탱크는 높은 파도에 의한 충격이나 운항 중 유빙 충돌 등과 같은 외부충격에 견딜 수 있어야 하고 특히 극저온 특성이 우수한 소재가 사용되어야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키는 LNG 탱크의 소재로는 9% Ni강, 오스테나이트계 스테인리스강 및 Al5083-O재를 사용하고 있으나 철계 소재의 경우 중량 증가에 따른 선박 무게의 증가로 그 한계성을 나타내었고, 이에 따라 LNG 탱크의 소재로 경량금속인 Al5083-O재의 사용이 고려되고 있다²⁾.

Al5083-O재는 Al-Mg계 알루미늄 합금의 하나로서 약 4.5%의 Mg를 함유하고 있는 용접구조용 합금이다. 비열처리 합금 중에서는 강도가 높고, 내식성 및 저온

취성 등이 우수하다. 그러나 알루미늄 합금을 이용한 용접은 기공이 발생하기 쉽고, 열전도도와 열팽창률이 높아 용접 변형, 용접부 균열 및 기공과 같은 결함 발생률이 높아 고품위의 용접기술이 요구된다³⁾. 특히 후판의 용접에서는 요구 용착량을 만족시키기 위해 그루브 가공 후 다층용접을 실시하는데, 이 경우 융합불량 및 슬래그 혼입 등의 내부결함이 일어나기 쉽다. 또한 이러한 문제들을 방지하기 위한 용접 전 산화막 제거, 비드 안정화를 위한 치핑 등 가공공정이 필요하게 되어 생산성에서 큰 영향을 미치게 된다⁴⁾. 그래서 현재 다층용접의 횟수를 줄이기 위한 고용착, 고효율의 용접기술이 연구되고 있다.

본 연구는 후판 Al 합금소재의 고효율 용접을 위한 대전류 MIG(Metal Inert Gas) 용접공정 기술에 관한 것이다. 대전류의 고용착 조건에서 BOP(Bead on plate) 용접을 수행하여 용접조건에 따른 비드외관, 용입깊이를 평가하였다. 그 결과를 토대로 두께 14.5mm 알루미늄 합금의 편면 원패스 용접으로 완전용입 용접부를 확보할 수 있는 용접조건을 도출하였다. 그리고

용접부에 대하여 단면분석, 인장강도, 밴딩시험 및 경도시험을 통해 용접성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구의 실험 모재는 Al5083-O이고 용접와이어는 직경 3.2mm의 Al5183 와이어를 사용하였다. 실험 모재 및 용접와이어에 대한 화학적 성분은 Table 1과 같다.

실험에 사용된 용접장치는 정전류형의 1500A급 MIG 용접기와 고주파 아크 스타트 장치 및 용접조건 설정 장치를 포함한 용접캐리지로 Fig. 1과 같다. 용접토치는 보호가스의 편류, 난류를 없애고 용접 중 용융부를 외부 공기로부터 완전하게 차단시키기 위하여 Fig. 2와 같이 대구경의 이중 보호가스 공급용 토치를 사용하였다.

Table 1 Chemical composition (wt, %)

Material	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
Al5083-O	0.14	0.17	0.01	4.8	0.02	0.98	0.01	0.02	Bal.
Al5183	0.4	0.4	0.1	4.3 ~5.2	0.25	0.5 ~1.0	0.1 ~0.3	0.15	Bal.



Fig. 1 High current MIG welding system

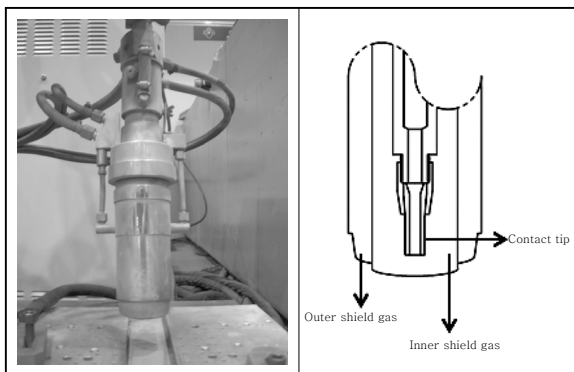


Fig. 2 Dual shielding torch

보호가스의 유량은 너무 적으면 보호가스 역할이 불충분하여 기공이 발생하기 쉬우며, 너무 많으면 노즐 출구에서 와류현상이 발생하여 기공이 발생하기 쉽다. 따라서 유량은 적절히 조정되어야 한다. 본 실험에서 사용한 보호가스는 내부 Ar50%+He50%에 유량 110 l/min, 외부 Ar100%에 유량 80 l/min를 사용하였다⁵⁾. 용접 토치의 각도는 용접진행 방향 반대쪽 10°로 유지하였다⁶⁾. 용접와이어와 모재간의 거리는 35mm로 설정하였다.

알루미늄 합금 중 특히 Al-Mg합금의 표면에는 두껍고 강한 산화피막이 형성된다. 이러한 산화피막은 용융부의 안정화와 전극소모에 부정적인 영향을 미친다⁷⁾. 그래서 용접실험 전 산화피막을 제거하기 위해 Al5083-O 재의 표면을 스테인리스 와이어 브러쉬를 사용하여 연마하였다.

용접실험은 준비된 모재를 접지가 가능한 판재위에 설치하고 용접캐리지를 사용하여 용접을 실시하였다.

BOP 용접실험은 25mm 두께의 판재에 직경 3.2mm 용접와이어를 사용하여 용접을 수행하였으며 용접 수행 후 비드 표면과 비드 폭, 비드 높이, 용입깊이를 관찰하였다. 그리고 측정결과를 통해 그루브 형상을 설계하여 맞대기 용접을 실시하였다. 그루브 용접실험은 14.5mm 두께의 판재에 3.2mm 직경의 용접와이어를 사용하여 용접을 수행하였다. 그리고 단면분석, 인장강도, 밴딩시험 및 경도시험을 통해 용접성을 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 BOP 용접 실험결과

BOP 용접실험 조건은 다음과 같다. 용접속도는 40cm/min, 용접전류는 470~620A, 용접전압은 30~35V로 설정하여 용접실험을 수행하였다. 실험 후 관찰한 비드의외관과 단면형상은 Table 2와 같다. 용접전류가 증가함에 따라 용입깊이가 증가함을 알 수 있고 또한 동일전류 조건에서 전압 증가 시 비드폭이 증가함을 알 수 있다.

모든 용접조건에서 고전류 대역에 발생하는 퍼커링 현상은 발생되지 않았고, 단면상에도 결함이 없음을 확인할 수 있었다.

3.2 그루브 형상 도출

그루브 형상 가공 없이 용접을 수행하게 되면 상면비드 두께가 과도하게 크게 되고 용입을 균일하게 확보하는데 어려움이 발생한다. 그래서 본 연구에서는 3.1절

Table 2 Bead appearance and cross section

Welding condition	Bead appearance	Cross section
470A/29.3V		
470A/31.7V		
470A/33.6V		
520A/30.6V		
520A/33.1V		
560A/31.2V		
560A/33.4V		
560A/35.5V		
620A/31.2V		
620A/33.3V		
620A/34.1V		

Table 3 Cross section analysis

Welding condition		Cross section	
Current (A)	Voltage (V)	Bead width (mm)	penetration depth(mm)
470	29.3	26.9	11.3
	31.7	29.9	12.2
	33.6	29.3	12.5
520	30.6	28.1	13.0
	33.1	28.4	14.0
560	31.2	27.7	14.3
	33.4	31.2	16.5
	35.5	31.6	16.8
620	31.2	30.7	17.5
	33.3	32.7	19.5
	34.1	34.0	19.7

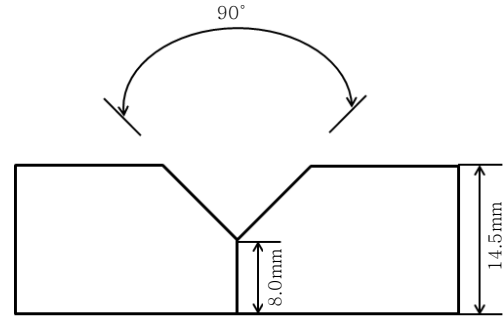


Fig. 3 Join groove and dimension

의 BOP 용접 실험결과를 토대로 두께 14.5mm 판재를 편면 원패스 용접할 수 있는 그루브 형상을 설계하였다.

그루브 형상은 Fig. 3과 같이 그루브 각도 90°, 루트 페이스 길이 8mm로 가공하였다. 시편크기는 80 × 700mm로 맞대기 용접부 양 끝단에 30mm씩 가용접을 한 상태에서 용접실험을 수행하였다. 또한 용락방지를 위해 세라믹 백킹재를 이면에 부착하여 용접을 수행하였다.

3.3 그루브 용접실험 결과

그루브 용접실험은 용접속도 40cm/min, 용접전류는 450A, 510A, 550A의 용접조건으로 수행하였다.

용접실험 후 외관관찰 결과 Table 4와 같이 510A, 550A의 용접전류에서 비드 및 이면비드의 외관이 양호하였다.

510A 용접전류로 획득된 시편에 대하여 용접부 인장 시험과 밴딩시험을 한국선급 규격에 따라 실시하였다⁸⁾.

Table 4 Back bead and cross section of groove weld

Welding condition	Bead appearance (Bottom)	Cross section
450A/30.7V		
510A/29.3V		
550A/29.6V		

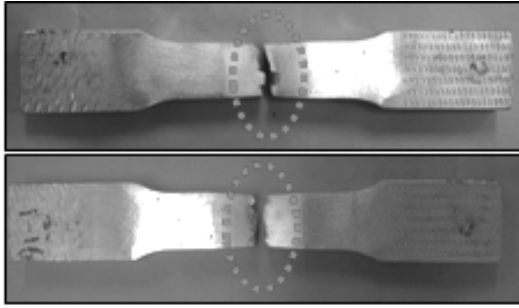


Fig. 4 Tensile test result of groove weld

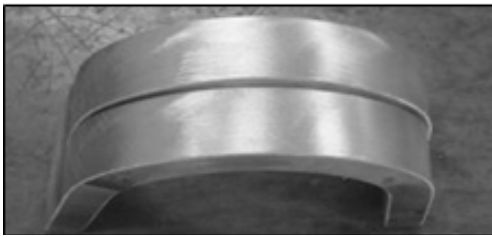


Fig. 5 Bending test result of groove weld

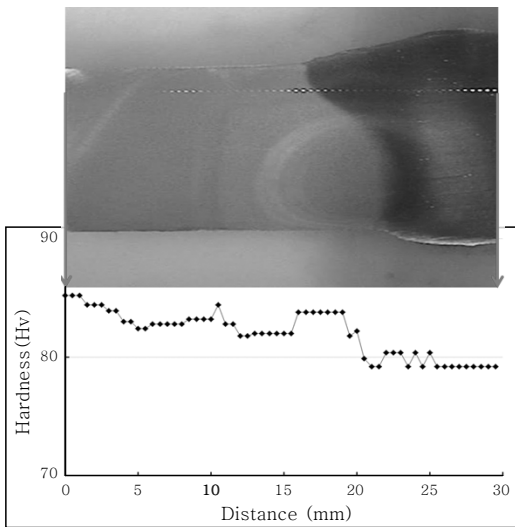


Fig. 6 Hardness characteristic of groove weld

인장시험은 대기 중에서 4mm/min의 인장속도로 2회 실시하였다. 510A 용접전류 조건이 모재 인장강도 (320MPa)의 약 90%인 286MPa의 인장강도를 가지며 Fig. 4와 같이 용착금속부에서 파단이 발생하였다. 또한 밴딩시험 결과 Fig. 5와 같이 용접부에 크랙 및 파단이 발생되지 않는 양호한 결과를 나타내었다.

경도 시험은 하중 200gf, 유지시간은 10초, 타점간

격 0.5mm, 타점수 60의 조건으로 시험을 진행하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 모재부 평균 83Hv, 용착금속부 평균 79Hv가 나타났다. 이는 용착금속부 중앙에서 모재대비 약 4Hv 정도가 감소되고 있다는 것을 보여주고 있다. 이와 같이 용착금속부의 경도 하락으로 인해 용접부 인장강도가 모재와 대비하여 감소하는 결과를 나타내고 있다. 이에 따라 용접부 인장시험 시 용착금속부에서 파단이 발생한 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 후판 Al 합금소재의 대전류 MIG 용접공정 기술개발에 관한 것이다.

1) 용접속도와 용접전류, 용접전압을 변수로 선정하여 실험을 진행하였다.

2) BOP용접실험을 수행하여 용접공정변수에 따른 용입특성을 관찰하였다.

3) Al5083-O 알루미늄 합금의 대전류 MIG용접을 실시하여 두께 14.5mm의 판재의 그루브 편면 원패스 완전 용입 조건을 확보하였다.

4) 그루브 용접부의 인장강도결과 모재대비 90%의 결과가 나왔다. 밴딩시험결과 결함은 발생되지 않은 양호한 용접부를 보여주었다.

참 고 문 헌

1. S.H. Hong : Present Status and Prospect of LNG Storage Tank, Journal of KWS, **13-3** (1995), 1-7
2. Naoki Oiwa, Tooru Iijima, Akihiro Kida and Susumu Ohga : Structure and welding technologies for SPB LNG aluminum tank, International Conference on Aluminium Alloy, **5-9** (2010), 83-84
3. J.H. Kim, D.H. Park : Porosity in Thick Aluminium Alloy Welds, Journal of KWS, **12-1** (1994),7-11
4. O. Baba, Y. Okumoto and A. Abe : Production process of aluminium alloy tank of SPB LNG carrier, Welding International, **22-7** (2008), 442-443
5. 脇野喜彦 : 大電流MIG溶接法の厚板への適 (1978), 59-61
6. The Aluminum Association : Welding Aluminum (Theory and Practice). Fourth Edition (2002), 7-17
7. K.H. Lee and H.S. Jeon : Status and Prospect os Site Welding Technology for LNG Storage Tank, Journal of KWS, **13-3** (1975), 8-17
8. Rule for Classification Steel Ships : Part 2 Material and Welding, Korean Register of Shipping (1998) 94-115



- 최영배
- 1983년생
- 한국생산기술연구원
- 용접공정최적화
- e-mail : choiyb83@kitech.re.kr



- 김동철
- 1967년생
- 한국생산기술연구원
- 용접공정최적화, 용접공정제어
- e-mail : dckim@kitech.re.kr



- 강문진
- 1961년생
- 한국생산기술연구원
- 용접공정개발, 용접시스템 개발
- e-mail : moonjin@kitech.re.kr



- 황인성
- 1981년생
- 한국생산기술연구원
- 용접공정최적화, 용접시스템 개발
- e-mail : hisman@kitech.re.kr